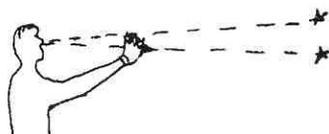
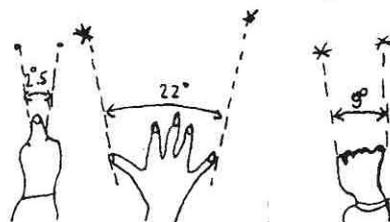


MISURE ANGOLARI

Strumenti per misurare gli angoli anche tra le stelle

Le spanne

C'è un rapporto quasi costante nel nostro corpo che possiamo utilizzare per misurare gli angoli. Si tratta per l'individuo adulto del rapporto tra la distanza occhio/mano, con il braccio ben teso, e la distanza pollice/mignolo, con la mano ben aperta. La mano così aperta è vista dall'occhio sotto un angolo di circa 22° , il pugno chiuso sotto un angolo di 9° e il pollice sotto un angolo di $2,5^\circ$. Durante la crescita queste misure non sono del tutto rigorose ma sono sufficienti per fare delle stime: si tratta di una misurazione approssimativa, ma significativa. Il corpo dunque è ancora una volta, come nell'*horinomo*, strumento di osservazione e di misurazione. In un percorso di misurazione è importante utilizzare in una prima fase gli strumenti corporei, perché la stima rende consapevoli della possibilità di misurare, senza costringere anzitempo alla precisione.



La balestra celeste

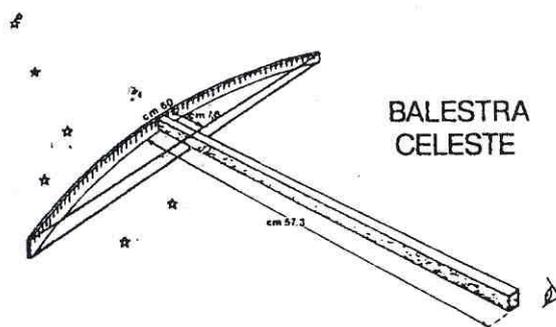
Quando guardiamo in cielo due oggetti celesti e vogliamo misurare la distanza angolare che li separa, dal nostro punto di vista, ci serviamo di misure di angoli. Se vogliamo misurare la distanza che osserviamo tra Giove e la Luna, ad esempio, cer-

cheremo di calcolare l'angolo Giove-Terra-Luna. Il nostro occhio, in questo caso, è il vertice dell'angolo, nella posizione della Terra, e dobbiamo cercare degli strumenti semplici per poterlo misurare.

Ci si può divertire a misurare le distanze angolari tra i più svariati oggetti: tra le cime di due montagne o tra le antenne di due palazzi, tra il Sole e la Luna, come tra gli occhi di un compagno che è di fronte. In quest'ultimo caso, è chiaro, la distanza angolare varia notevolmente in funzione della distanza tra chi osserva e l'oggetto osservato, mentre quando ci riferiamo a oggetti assai lontani, come le stelle o i pianeti nel cielo, non ci saranno differenze apprezzabili, perché il nostro punto di vista è comunque determinato dalla posizione della Terra.

Attenzione

La distanza tra due osservatori, anche se è di qualche metro, non influisce sulla misura e neanche la distanza di km o tra due diversi paesi della Terra! Queste distanze sono infinitesime se confrontate con la distanza tra la Terra e le stelle e possono quindi essere trascurate e risultano influenti nell'osservazione.



La balestra è formata da un bastone diritto e da un legno piegato ad arco. Poggiando il bastone della balestra allo zigomo, sotto l'occhio, l'arco scandito in centimetri dà la distanza angolare, tra i due oggetti di cui abbiamo scelto di misurare la distanza. Ad esempio se punto la balestra in direzione dell'Orsa Maggiore e desidero misurare la distanza che separa le due ultime stelle del timone del carro, faccio corrispondere il grado zero della balestra alla prima stella e mi accorgo che la seconda stella si trova in corrispondenza della tacca 5 della balestra. Poiché i centimetri della balestra corrispondono ai gradi ... questo vuol dire che la distanza angolare tra le stelle che ho scelto è di 5 gradi.

Quali distanze angolari misurare nel cielo?

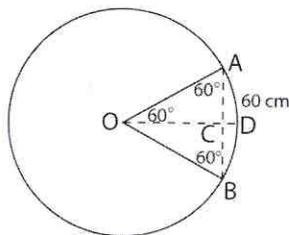
- tra la terra e il cielo – Possiamo calcolare l'altezza del Sole sull'orizzonte, e su questo anche l'altezza della Luna quando tramonta al mattino, in fase calante; possiamo seguire il variare delle distanze angolari che separano un astro dalla linea dell'orizzonte, familiarizzandoci così con il moto della Terra che percepiamo attraverso il moto che osserviamo nel cielo;

- tra le stelle – Le distanze angolari tra le stelle non variano. Una volta calcolate rimangono sempre uguali nel tempo, per questo sono state chiamate “stelle fisse”. Si può arrivare a disegnare con una certa precisione la forma di una costellazione dividendola in triangoli e facendo corrispondere, al segmento che unisce idealmente due stelle, la loro distanza angolare;
- tra il Sole e la Luna – Il variare della distanza angolare tra il Sole e la Luna può essere confrontato giorno dopo giorno e messo in relazione con le fasi della Luna (v *goniometro del Sole e della Luna*);
- tra la Luna e le stelle – Ogni notte è possibile osservare e calcolare la distanza tra la Luna e quelle stelle, più luminose e riconoscibili, che fanno da sfondo al suo cammino, nella zona dello Zodiaco. E così possibile rendersi conto, prevedere e seguire gli spostamenti del nostro satellite lungo la fascia dell’Eclittica;
- tra i pianeti – Per seguire gli spostamenti dei pianeti tra loro, o in riferimento alle stelle nella zona dello Zodiaco, sono in genere necessari tempi più lunghi di osservazione. Già a distanza di poche settimane, tuttavia, si possono confrontare distanze e posizioni reciproche, avvicinando alla conoscenza diretta dei moti planetari.

Costruzione della balestra

Il triangolo OAB avendo gli angoli al centro di 60° ed essendo isoscele, risulta equilatero, quindi a 60 cm corrispondono 60 gradi

Il triangolo OAB
avendo gli angoli al centro di 60°
ed essendo isoscele risulta
equilatero
quindi...



... deve essere:
 $\overline{AB} = 57,3 \text{ cm}$
 quindi
 $\overline{AC} = \overline{CB} = 28,6 \text{ cm}$
 per il teorema di Pitagora:
 $\overline{OC}^2 = \overline{OA}^2 - \overline{AC}^2$
 $\overline{OC}^2 = 3282,3 - 817,9 = 2465,4$
 $\overline{OC} = 49,7 \text{ cm}$
 $\overline{CD} = 57,3 - 49,7 = 7,6 \text{ cm}$

Una balestra un po' più complessa: la balestriglia

Uno strumento utilissimo in astronomia è la *balestriglia*, chiamata un tempo *bastone di Giacobbe* oppure *raggio astronomico* o *croce astronomica* o *balestra astronomica*. Essa serviva per misurare l'angolo tra due direzioni convergenti sull'occhio, come per esempio la distanza angolare tra due stelle. Era costruita generalmente in legno e veniva utilizzata anche per determinare la distanza tra due punti inaccessibili o l'altezza di una torre o per effettuare altre misure topografiche.

Lo strumento (Figura 3) era formato da un'asta rettilinea graduata, detta freccia, sulla quale poteva scorrere il cosiddetto martello, un secondo asse trasversale esattamente perpendicolare alla freccia. Alle estremità del martello erano fissate due pinnule P e P', cioè due cilindretti utilizzati come mirini; un terzo era posto in A, all'inizio della gradazione della freccia. Appoggiando l'occhio in A si spostava avanti o indietro il martello M finché le due stelle, delle quali si doveva trovare la distanza angolare, apparivano esattamente sopra le due pinnule P e P'. Poiché la distanza PP' è

sempre la stessa, esiste evidentemente una relazione tra l'angolo PAP' e la distanza tra A e il martello; più precisamente, se $PP' = a$ e la distanza da A al martello è x , l'angolo α si ottiene da:

$$(1) \quad \alpha = \arctg(a/2x).$$

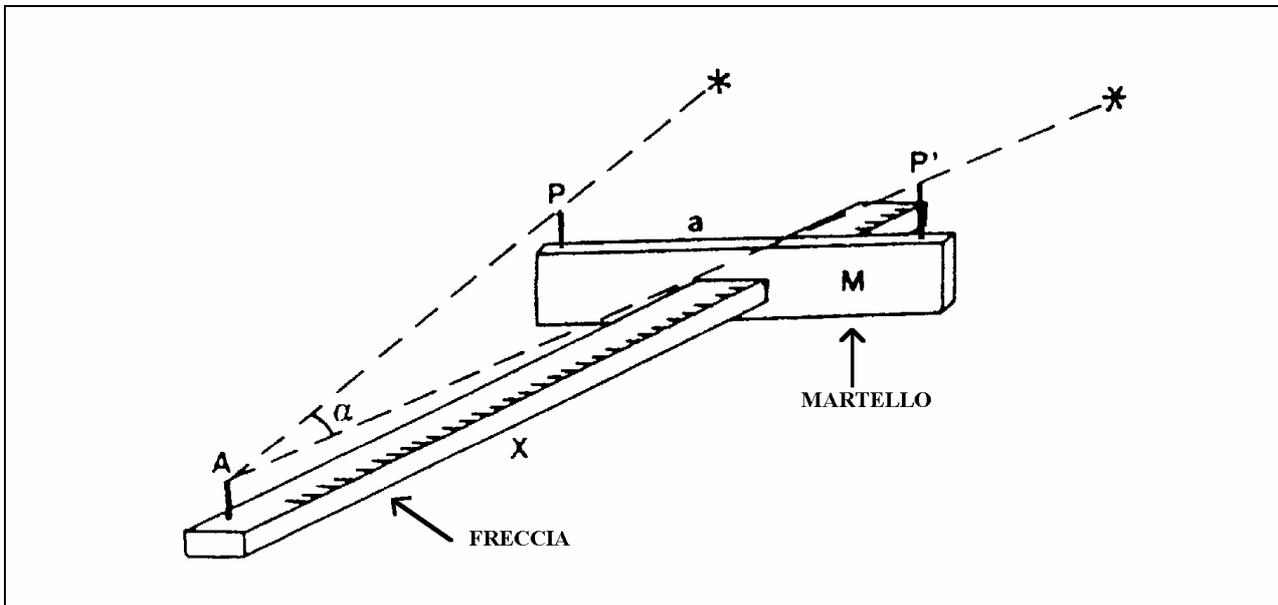


Figura 3 - La balestriglia

In forma molto semplice si può costruire una balestriglia utilizzando una riga graduata, lunga circa un metro, e qualche pezzo di legno o di cartone. La riga verrà utilizzata come freccia. Adoperando del cartone molto robusto si costruirà quindi un mirino A dotato di una fessura f , come è illustrato nella figura 4; questa funge da pinnula sulla quale si pone l'occhio. Il mirino verrà fissato con la colla in corrispondenza dello 0 della graduazione della riga. Utilizzando ancora il cartone si costruirà quindi il martello, cioè una striscia che verrà fissata, perpendicolarmente alla riga, su un supporto scorrevole. Una fessura consentirà la lettura della distanza del martello da A. Sul martello si taglieranno quindi due sottili fenditure che sostituiscono le pinnule P e P'; tali fenditure saranno poste a 10 centimetri di distanza l'una dall'altra, in modo che il punto di mezzo della loro congiungente sia esattamente sulla retta, perpendicolare al martello, passante per la fessura f della pinnula A. Con la relazione (1), tenendo conto che $a = 10$ cm, si può calcolare l'angolo α . Convieni, in certi casi, costruire il martello come è indicato dalla Figura 4; in tal modo si ha la possibilità di utilizzare diverse scale, servendosi delle due scanalature; le scale devono però essere calcolate con la formula (1). Le stelle in tal caso devono essere viste da A esattamente sui limiti di ogni traguardo.

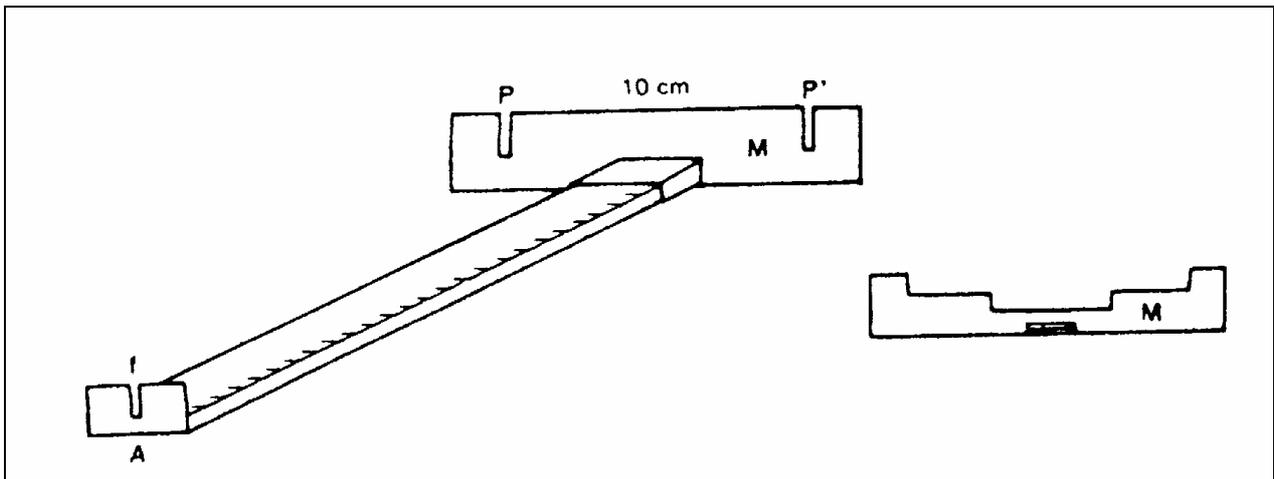
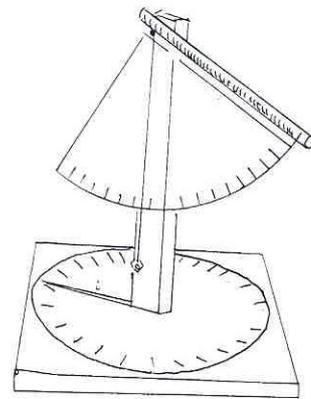


Figura 4 - Costruzione di una balestriglia.

Il teodolite

Con tale strumento è possibile registrare le coordinate di un astro.

Una misura degli angoli su piani particolari, il piano con giacitura orizzontale e quello con giacitura verticale, è possibile con uno strumento ben tarato: il teodolite. Si tratta di uno strumento formato da un cerchio graduato di base su cui può ruotare un quadrante in posizione perpendicolare: i due goniometri permettono di



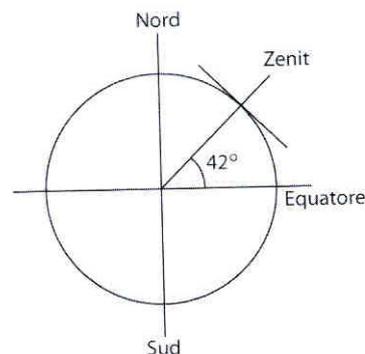
stimare le due misure angolari di un astro, l'azimut, rispetto alle direzioni sul piano dell'orizzonte, e l'altezza dell'astro dal piano orizzontale.

Già con un solo goniometro, formato da un semicerchio retto in posizione verticale, nel cui centro sia impernato un tubo che permette di puntare un astro, è possibile misurare l'altezza dell'astro, mentre una bussola affiancata al goniometro può dare la stima dell'azimut.

Una spiegazione e un possibile percorso di attività:

Il cerchio rappresenta un meridiano terrestre.

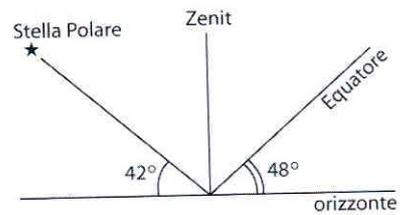
Noi siamo in una posizione qualsiasi sulla terra, ossia in un punto che non ha alcuna peculiarità geografica.



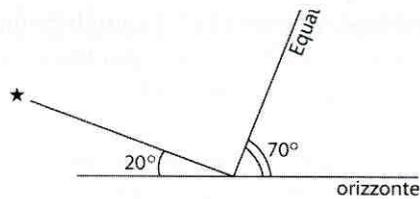
Il nostro meridiano è ora disegnato come nel “mappamondo parallelo”: noi siamo posti nel punto disegnato in alto.



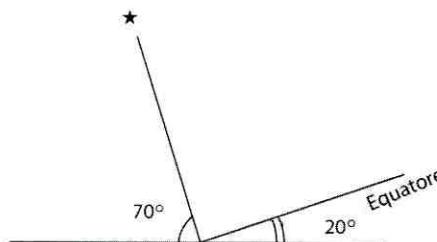
Isoliamo il nostro orizzonte e su questo individuiamo le direzioni dello Zenit (la verticale), dell’asse del mondo (la direzione della stella Polare) e del piano dell’Equatore Celeste).



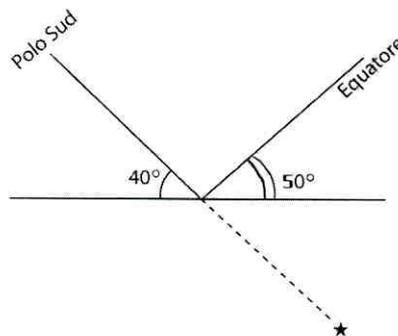
Per una latitudine di $+20^\circ$ si ha:



Per una latitudine di $+70^\circ$ si ha:

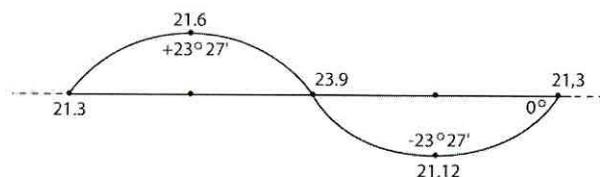


Per una latitudine di -40° si ha:



La declinazione del Sole durante l'anno cambia lungo il cerchio dell'Eclittica.

Intorno al 21.3 e al 23.9, giorni dell'Equinozio, la declinazione del Sole è 0° ; intorno al 21.6, il giorno del Solstizio d'Estate è $+23^\circ 27'$, e intorno al 21.12, giorno del Solstizio d'Inverno è $-23^\circ 27'$;



L'altezza del Sole sull'orizzonte dipende:

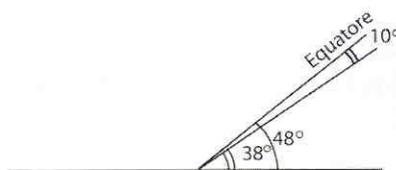
- dalla latitudine del luogo
- dalla data, e quindi dalla declinazione del Sole

ad esempio alle ore 12, a Roma (latitudine $+42^\circ$) il 9.11 si ha

- declinazione del Sole circa -10°
- $48^\circ - 10^\circ = 38^\circ$ è l'altezza del Sole sull'orizzonte

- ad esempio alle ore 10,30, quindi prima del mezzogiorno solare, il Sole è più basso ed è verosimile un valore di circa 30° .

Siamo ora in grado di chiederci e prevedere l'altezza del Sole sull'orizzonte a mezzogiorno solare per una data latitudine della Terra e per una data declinazione del Sole.



Per controllare con l'osservazione questo dato che abbiamo calcolato, possiamo servirci delle spanne, o del teodolite o ancora più semplicemente possiamo catturare il raggio del Sole in un tubo fatto arrotolando la carta, e misurare l'angolo di questo con il terreno quando il raggio di Sole lo attraversa e quindi l'ombra del tubo è minima e si vede solo il cerchio del bordo del tubo.

Un teodolite un po' più semplice: l'altimetro

Un altro strumento utile e facile da costruire è l'altimetro. Costruito un tubicino di carta del diametro di un centimetro e lungo una ventina di centimetri lo si fissa con del nastro adesivo su un goniometro in modo che sia parallelo alla direzione $0^\circ - 180^\circ$. Al centro del goniometro si fissa un filo sull'estremità del quale è posto un piccolo peso (Figura 5).

Per misurare l'altezza di un corpo celeste sull'orizzonte si punta su di esso il tubicino e si misura l'angolo α tra la verticale e il tubo. L'altezza del corpo celeste è data da:

$$h = 90^\circ - \alpha.$$

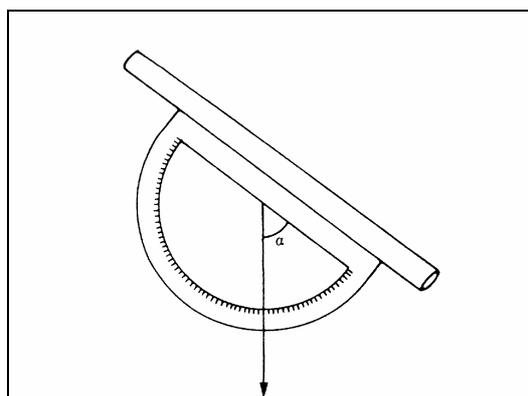


Figura 5 - Costruzione di un altimetro

ESERCITAZIONE: Il moto di Marte.

Misurate la distanza del pianeta Marte da alcune stelle di riferimento (ne bastano due e sceglietele luminose) e riportate sulla cartina allegata le posizioni del pianeta. Effettuate le misure tutte le volte che vi è possibile (almeno una volta alla settimana) e proseguite nel lavoro fino alla fine di maggio. Alla fine troverete la traiettoria di Marte attraverso le stelle fisse. Conservate i dati !!!

Alcune informazioni utili sulla cartina stellare. Il sistema di riferimento che normalmente si usa in astronomia prevede una scala orizzontale in ore, minuti e secondi chiamata Ascensione Retta (AR) e una verticale in gradi, primi e secondi chiamata declinazione (δ). Si noti che poichè l'AR si misura da 0 h a 24 h si può facilmente ricondurre la stessa scala in gradi, primi e secondi ($1 \text{ h} = 15^\circ$). La declinazione va da -90° (polo sud) a 0° (equatore celeste) a 90° (polo nord). Nella cartina la scala in AR ha una suddivisione minima di $4 \text{ min} = 1^\circ$; in declinazione la suddivisione minima è di 1° ; inoltre ogni grado, sia in AR che in declinazione corrisponde a 4 mm.

ESERCITAZIONE: Il moto della Luna.

Stabilire lo spostamento della Luna in un'ora, sulla sfera celeste, misurando con la balestriglia la sua distanza dalle stelle vicine. Stabilire anche le posizioni delle stelle di riferimento e valutare il moto della Luna in gradi all'ora.